第28卷 第3期 腐蚀科学与防护技术 Vol.28 No.3
2016年5月 CORROSION SCIENCE AND PROTECTION TECHNOLOGY May 2016

经验交流

用RBI技术研究原油稳定装置安全性

李循迹 宋中华 范颂文 单全生 毛仲强 王福善 李先明 袁镜清 王俊奇
中国石油天然气股份有限公司塔里木油田分公司开发事业部 库尔勒 841000

摘要: 运用基于风险的检验技术 (RBI) 和ORBIT ONSHORE软件对原油稳定装置进行了风险评估和风险排序，阐述了原油稳定装置各单元的腐蚀机理、破坏形式和腐蚀速率，提出了降低风险等级的有效措施。

关键词: RBI 原油稳定装置 风险等级 降低风险
中图分类号: TE986 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-6495(2016)03-0279-04

1 前言

RBI (Risk Based Inspection) 是一种基于风险的检验技术。该项技术包括两部分：研究装置各单元失效破坏的可能性，如某单元或设备每年可能的泄漏次数；研究发生失效破坏后所导致的后果。采用该项技术对生产装置中每个单元或设备中固有的或潜在的失效破坏可能性及其导致的危害进行定性或定量的研究，量化风险的大小，给出风险排序，找出薄弱环节，对风险较高的环节予以重点关注，及时检验、适时检修，确保装置的安全运行并减少运行成本[1]，实现安全性与经济性的高度统一。

上世纪90年代初，美国石油学会开展了RBI的应用研究工作，1996年公布了RBI基本资源文件API581的草案，2000年5月又公布了API581正式文件[2]，2002年5月正式颁布了RBI标准API RP 580[3]，为RBI的推广应用提供了一个统一的基础平台。随着RBI的推广应用，欧美等工业发达国家的压力容器、压力管道和生产装置的检修已由过去的定期停车检修，向依据RBI评估结果科学的延长定期停车检修的周期和有针对性的检修某些需要重点关注的风险等级高的设备转变，在保障安全的前提下，降低了生产运行成本。在RBI推广应用过程中，形成了比较完备、系统的评价方法和比较成熟、广为使用的软件和数据库，如挪威船级社 (DNV) 的ORBIT ONSHORE，法国国际商检局 (Bureau Veritas，BV) 的RB·eye，英国Tis-chuk公司的T-OCA，英国焊接协会 (TWI) 的RISKWISE等[4]。2006年5月，国家质检总局下发了关于开展RBI工作的通知，为中国开展、推广RBI工作提供了政策依据。近年来，我国茂名石化、扬子石化、兰州石化、燕山石化，齐鲁煤气化等企业均开展过RBI工作，塔里木油田塔中作业区 1.20×10^6 m^3天然气处理装置也曾过进行过RBI工作[5]。目前，我国已颁布、实施了关于开展RBI工作的国家标准[6]。

本文采用RBI技术研究的原油稳定装置于1997建成投产，2005年由2.5 Mt/a扩建为3.20 Mt/a。装置采用正压闪蒸稳定工艺，来油经过预热、脱盐脱水后，加热至125 ℃闪蒸，稳后原油外输至原油集输站；闪蒸不凝气经轻烃分馏工艺处理，生产液化气、2#稳定轻烃，中间产品不凝气输至另一装置进一步处理。

随着含硫油气田的开发，该原油稳定装置的工况条件发生了明显变化：从2008年开始出现H_2S，且逐年升高，最高体积分数达到3×10^{-3}，CO_2含量也从1%升高到了4%，H_2S对部分设备造成的腐蚀危害已经显现。增压机出口分离器G103曾出现硫化氢应力腐蚀裂纹，原油换热器、空冷器等设备和管线频繁发生腐蚀穿孔、泄漏。到目前为止，该装置已服役近20年，设备和管线的腐蚀现状、隐患分布、腐蚀穿孔发生的可能性大小等，整体不清。采用RBI技术研究该原油装置的安全性，实现安全性与经济性的高度统一，已显得十分必要和迫切。

2 用RBI技术开展研究工作的程序

2.1 研究工作的流程与阶段

依据API标准[2,3]，用RBI技术开展研究工作的重要基础在于掌握装置的流程和工艺特性，其研究流程主要是首先确定项目研究目标，根据研究目标初步审核确定所需要的设备、工艺信息以及研究方法和存在的风险；进而收集设备、工艺资料，进行失效概率和风险后果的分析，依据风险结果，将装置中的设备按照风险大小排序，根据影响设备的风险的

定稿日期: 2015-07-21
作者简介: 李循迹，男，1961年生，硕士，教授级高级工程师
通讯作者: 毛仲强，E-mail: mzhq0996@sina.com，研究方向为油气田设备及管道腐蚀与防护
DOI: 10.11903/1002.6495.2015.174

因素，采取针对性的预防措施和检验计划，达到降低风险的目的。从项目目标的建立到项目初步审核是计划阶段；从风险识别到最初风险的确定是风险分析阶段；从风险管理到检验计划的制定再到持续落实的过程是风险的管理阶段。最终形成风险分析——检验检测——风险管理一个完整的流程。

2.2 研究对象的单元划分

根据原油稳定装置的整体工艺流程，以及各设备和管线的材质、规格、运行参数、腐蚀介质种类、含量、腐蚀监测报告、检 (维) 修记录、腐蚀泄漏位置、时间、方位等基础数据库[7]，将该装置划分为原油脱盐单元、原油稳定单元、压缩单元、轻烃稳定单元、污水单元等5个单元。

在每个单元中明确关键部位，做到全面覆盖、不留死角。这些关键部位包括：管道腐蚀、冲刷和紊流严重的部位 (弯头、三通、大小头、各阀门、孔板下游管段等)；盲端、死角部位 (调节阀旁路、开停工副线等)；管线高程图上低点易积存水部位；泵出口部位；压力、温度波动变化部位。

2.3 确定现场检验技术和软件

根据设备的材质和可能存在的失效机理选择适宜的检测技术，采用目视检查、磁粉检测、超声检测、超声测厚等技术对其进行检验；压力管道：采用表面无损检测、超声检测、超声测厚、漏磁检测；采用涡流检测和内窥镜检测。具体详见表1[2]；采用DET NORSKE VERITAS的ORMIT ONSHORE软件进行分析[8]。

2.4 确定风险分析的假设条件

在分析时假定：装置中所有的压力容器和压力管道均符合建造规范的要求；下次检验年份按最近一次检验报告书中给出的日期确定；最小允许壁厚按原规范确定；对API 581中未给出腐蚀机理的材料、介质、温度组合，根据积累的腐蚀实验数据和专家经验进行补充，对腐蚀明显轻微的 (如丙烷、导热油等) 情况，假定其腐蚀减薄速率设定为0.025 mm·a^{-1}；对于有些设备做内防腐处理-环氧聚氨脂等表面防腐蚀技术，因为防腐效果与施工质量有很大关系，焊缝附近有剥落现象，所以在评估时不考虑其防腐作用；对于可接受准则，采用国际惯例，取生命损失为0.001人·a^{-1}。

2.5 确定通用数据

轮南天然气处理站的400万吨/年原油稳定装置管理评估系数为0.75，采用规范为GB。当地气候为沙漠性气候，最低温度达到零下29 ℃，处于7级地震区域，装置年计划停车为一次。

根据API关于风险的定义，风险=失效可能性×风险后果，并给出了风险矩阵,风险矩阵有两种，一种是API风险矩阵，另一种是ASME的风险矩阵。在本项工作中用API风险矩阵判定原油稳定装置及其各单元的风险等级。

3 研究结果与分析

3.1 装置风险汇总

用RBI技术对原油稳定装置的压力容器和压力管道共计298个设备项进行了风险等级研究。结果表明：其中的低风险等级90项，占30.20%；中风险等级132项，占44.30%；中高风险等级71项，占23.83%；高风险等级5项，占1.68%。

其中原油脱盐单元低风险等级3项，占8.33%；中风险等级18项，占50.0%；中高风险等级15项，占41.67%；高风险等级0项，占0.0%。原油稳定单元低

表1 不同破坏类型的检验技术的效果

检验技术	减薄	连接面裂纹	次表面裂纹	微裂纹/微孔形成	金相变化	尺寸变化	鼓泡
目视检查	1~3	2~3	×	×	×	1~3	1~3
超声纵波	1~3	3~×	3~×	2~3	×	×	1~2
超声横波	×	1~2	1~2	2~3	×	×	×
荧光磁粉	×	1~2	3~×	×	×	×	×
着色渗透	×	1~3	×	×	×	×	×
声发射	×	1~3	1~3	3~×	×	×	3~×
涡流	1~2	1~2	1~2	3~×	×	×	×
漏磁	1~2	×	×	×	×	×	×
射线检查	1~3	3~×	3~×	×	×	1~2	×
尺寸测量	1~3	×	×	×	×	1~2	×
金相	×	2~3	2~3	2~3	1~2	×	×

Note: 1=高度有效, 2=适度有效, 3=可能有效 ×=不常用

风险等级26项，占33.33%；中风险等级28项，占35.9%；中高风险等级21项，占26.92%；高风险等级3项，占3.85%。压缩单元风险低风险等级8项，占26.67%；中风险等级10项，占33.33%；中高风险等级10项，占33.33%；高风险等级2项，占6.67%；轻烃稳定单元低风险等级10项，占30.30%；中风险等级23项，占69.70%；中高风险等级0项，占0.0%；高风险等级0项，占0.0%；污水单元低风险等级8项，占25.81%；中风险等级15项，占48.39%；中高风险等级8项，占25.8%；高风险等级0项，占0.0%。可见装置中的高风险设备主要分布在原油稳定单元和压缩单元。

3.2 原油稳定单元

共对原油稳定单元78个设备项进行了RBI技术研究，其中空冷器7项，换热器20项，分液罐2项，塔2项，管道47项。其中76个设备项存在均匀减薄，另外2个设备项存在局部减薄；有48个设备项存在应力腐蚀开裂，其中46个为应力腐蚀开裂腐蚀，2个为氯化物应力腐蚀开裂；78个设备均存在外部损伤，其中76个为外部腐蚀，2个为氯化物应力腐蚀开裂，见表2。

3.3 压缩单元

共对压缩单元30个设备项进行了RBI技术研究，其中空冷器4项，分液罐6项，贮罐1项，塔4项，管道15项。其中30个设备项均存在均匀减薄和外部腐蚀，21个设备项存在应力腐蚀开裂，见表3。

4 风险控制

降低该装置风险的方法,如前所述，风险等级为失效概率 (可能性) 和失效后果的乘积。要想改变失效后果通常是困难的，而降低失效概率 (可能性) 对于降低风险等级是有效的。API581[2]中失效概率计算方法为:

$$可能性_{调整后} = \sum_{K=1}^{4} GF_K \times F_M \times F_E$$

式中，$\sum_{K=1}^{4} GF_K$ 为同类设备不同尺寸失效可能性之和，K=1~4；F_M为管理系统修正系数，F_M=0.1~10.0；F_E为设备修正系数。

表2 原油稳定单元设备损失机理及检验策略

设备号	设备类型	损伤机理	检验策略
换-102/1	空冷器管	均匀减薄，应力腐蚀开裂，外部腐蚀	宏观检验，测厚，磁粉检测
H-101/1	管程	均匀减薄，外部腐蚀	宏观检验，测厚
E-101-管程	换热器管程	局部减薄，外部腐蚀	宏观检验，测厚
H101/7-管程	换热器管程	氯化物应力腐蚀开裂	宏观检验，测厚，磁粉检测
H-101/1-壳程	换热器壳程	均匀减薄，应力腐蚀开裂，外部腐蚀	宏观检验，测厚，磁粉检测
E701-壳程	换热器壳程	局部减薄，外部腐蚀	宏观检验，测厚
G102下部	分液罐	均匀减薄，应力腐蚀开裂，外部腐蚀	宏观检验，测厚，磁粉检测
G102上部	分液罐	均匀减薄，外部腐蚀	宏观检验，测厚
T101上部	塔上部	均匀减薄，外部腐蚀	宏观检验，测厚
T101下部	塔下部	均匀减薄，应力腐蚀开裂，外部腐蚀	宏观检验，测厚，磁粉检测
350-PL126-1.6D1	管道-10	均匀减薄，应力腐蚀开裂，外部腐蚀	宏观检验，测厚，磁粉检测
300-PL138-1.6A2	管道-12	均匀减薄，外部腐蚀	宏观检验，测厚
350-PL409-1.6D1	管道-12	均匀减薄，应力腐蚀开裂，外部腐蚀	宏观检验，测厚，超声检测，漏磁检测
400-PL110-2.5D1	管道-14	均匀减薄，外部腐蚀	宏观检验，测厚，管道漏磁检测
350-PL405-1.6D1	管道-14	均匀减薄，应力腐蚀开裂，外部腐蚀	宏观检验，测厚，超声检测，漏磁检测
400-PL423-1.6D1	管道-16	均匀减薄，外部腐蚀	宏观检验，测厚，管道漏磁检测
LNTRQ-400W-0146	管道-03	均匀减薄，外部腐蚀	宏观检验，测厚，管道漏磁检测
100-NG402-1.6A2	管道-04	均匀减薄，应力腐蚀开裂，外部腐蚀	宏观检验，测厚，超声检测，漏磁检测
150-NG804-1.6A2	管道-06	均匀减薄，外部腐蚀	宏观检验，测厚，管道漏磁检测
150-HC108-1.6A2	管道-06	均匀减薄，应力腐蚀开裂，外部腐蚀	宏观检验，测厚，超声检测，漏磁检测
200-PL420-1.6D1	管道-08	均匀减薄，外部腐蚀	宏观检验，测厚，管道漏磁检测
200-PL011-1.6D1	管道-08	均匀减薄，应力腐蚀开裂，外部腐蚀	宏观检验，测厚，超声检测，漏磁检测

表3 压缩单元设备损失机理及检验策略

设备号	设备类型	损伤机理	检验策略
1#螺杆压缩机空冷器	空冷器	均匀减薄,外部腐蚀	宏观检验,测厚
换-103/1	空冷器	均匀减薄,应力腐蚀开裂,外部腐蚀	宏观检验,测厚,磁粉检测
V301	分液罐	均匀减薄,应力腐蚀开裂,外部腐蚀	宏观检验,测厚,磁粉检测
V302	贮罐	均匀减薄,应力腐蚀开裂,外部腐蚀	宏观检验,测厚,磁粉检测
V-303A	塔	均匀减薄,应力腐蚀开裂,外部腐蚀	宏观检验,测厚,磁粉检测
300-PG001-1.6A1-H50	管道-10	均匀减薄,应力腐蚀开裂,外部腐蚀	宏观检验,测厚,超声检测,漏磁检测
250-NG101-1.6A2	管道-10	均匀减薄,外部腐蚀	宏观检验,测厚,漏磁检测
300-NG145-1.6A2	管道-12	均匀减薄,外部腐蚀	宏观检验,测厚,漏磁检测
50-NG145-1.6A2	管道-02	均匀减薄,外部腐蚀	宏观检验,测厚,漏磁检测
50-LD006-1.6A1-E30	管道-02	均匀减薄,应力腐蚀开裂,外部腐蚀	宏观检验,测厚,超声检测,漏磁检测
80-NG103-1.6A2	管道-03	均匀减薄,应力腐蚀开裂,外部腐蚀	宏观检验,测厚,超声检测,漏磁检测
100-HC112-2.5A2	管道-04	均匀减薄,应力腐蚀开裂,外部腐蚀	宏观检验,测厚,超声检测,漏磁检测
150-PG102-2.5A2	管道-06	均匀减薄,外部腐蚀	宏观检验,测厚,漏磁检测
150-PG101-2.5A2	管道-06	均匀减薄,应力腐蚀开裂,外部腐蚀	宏观检验,测厚,超声检测,漏磁检测
200-NG145-1.6A2	管道-08	均匀减薄,外部腐蚀	宏观检验,测厚,漏磁检测

由上式可见,若通过降低失效可能性进而达到降低风险等级的目的,可采取3种有效方法:

(1) 加强管理。提高管理水平,通过装置风险识别,开展针对性的预防性检维修计划,实际上就是降低了管理系统修正系数F_M。

(2) 腐蚀趋势动态监测。腐蚀控制可以改变$\sum_{K=1}^{4} GF_K$和F_E;在装置建立周期性定点测厚制度,在关键部位设立取样点,在工艺流程关键部位明确应力腐蚀开裂的临界值,跟踪监测并及时调整运行参数,掌握装置腐蚀变化趋势,有效的降低流程设备风险,确保现有装置在可控工况条件下运行。

(3) 制定合理的检验策略和提高检验的有效性。该项工作可以同时降低上式中3个因子的大小。至于检验内容、部位、方式、周期等有效的检验方案,已有的工作[4]与表1可供借鉴。对仅有减薄损伤的情况下,重点检查壁厚变化,并不一定还要进行超声扫描和射线探伤;对仅有应力腐蚀开裂的情况,对满足应力腐蚀条件的部位重点查裂纹。

5 结论与认识

(1) 用RBI技术、ORBIT ONSHORE软件对某原油稳定装置中划分的5个单元的298个设备项进行了风险等级研究。结果表明:低风险等级90项,中风险等级132项,中高风险等级71项,高风险等级5项。

(2) 该装置的腐蚀机理为H_2S、$C0_2$腐蚀;腐蚀破坏形式为均匀腐蚀、局部腐蚀;不锈钢材料为氯化物点蚀和应力腐蚀并存;腐蚀速率等级为中至高。

(3) 风险等级高和中高的设备应作为设备管理的重点,中风险设备应加强跟踪。

(4) 可以通过降低失效可能性来实现降低风险等级;建议对于处在中、中高、高风险等级、且失效可能性为4、5的设备再安排一次在线检验,有望降低它们的风险等级。

(5) RBI技术的关键并不完全在于软件,对装置设备、流程、介质特性与变化和运行历史的掌握,以及对相应数据库的掌握尤为重要,缺乏实践经验的方法软件实际用途并不大,给出的结果未必可信。

参考文献

[1] 贺磊, 陈国华. 风险检测技术在石化工业中的应用 [J]. 炼油技术与工程, 2003, 33(12): 21

[2] API581-2008. Risk based inspection base resource document [S]. First Edition, 2000, 5

[3] API580-2002. Risk based inspection [S]. First Edition, 2002, 5

[4] 陈学东, 杨铁成, 艾志斌等. 基于风险的检测 (RBI) 在实践中若干问题讨论 [J]. 压力容器, 2005, 22(7): 36

[5] 赵国相, 田利, 郭妍琼等. 基于风险的检验技术在含硫天然气处理装置中的应用 [J]. 石油化工设备, 2012, 41(4): 77

[6] GB/T26610.1-2011,承压设备系统基于风险的检验实施导则 第1部分: 基本要求和实施程序 [S]

[7] 张玉福, 宋文明. 400万吨原稳装置基于风险的检验 [R]. 2014

[8] 李聿营.基于风险的检验 (RBI) 在GE水煤浆气化装置中的应用 [J]. 石油和化工设备, 2012, 15(11): 44

